

скорость альфа-счета всего объема раствора тория, находившегося в контакте с данным образцом сорбента (определяется в отдельных экспериментах путем последовательной сорбции радия до его полного извлечения из раствора на 3-4 дисках сорбента),  $S_{\infty}$  – степень сорбции в равновесных условиях. Во всех экспериментах  $S_{\infty} = k_d[m]/1+k_d[m]$  брали как значение степени сорбции, рассчитанное из величины  $k_d$  для данных условий (для заданного значения pH и соотношения массы сорбента  $m$  и объема раствора  $V$ ,  $[m]=m/V$ ), т.е. подразумевается значение  $S_{\infty}$ , близкое к истинному термодинамическому равновесию.

Из полученных данных следует, что в обоих случаях процесс сорбции во времени протекает в три этапа. На первом этапе от 0 до 30 мин скорость сорбции достаточно высокая и зависит от скорости перемешивания раствора, что говорит о том, что наиболее вероятной лимитирующей стадией на этом временном интервале является внешняя диффузия радия в ламинарной пленке жидкости, смачивающей поверхность сорбента. На втором этапе от часа до 2,5 часов контакта фаз скорость сорбции резко падает, однако остается достаточно высокой, и перестает зависеть от скорости перемешивания раствора. Можно предположить, что режим процесса на втором временном этапе меняется от внешней диффузии к внутренней диффузии в транспортных порах сорбента. При суточных временах контакта фаз начинается третий самый медленный этап процесса сорбции, на котором лимитирующим процессом сорбции становится диффузия радия в регулярном твердом теле сорбента. В процессе диффузии радия в регулярном твердом теле сорбента его дочерний изотоп радона Tn-220 оказывается иммобилизованным в атомарной структуре двуокиси марганца и степень эманирования снижается до нуля.

## ANNEALING DEPENDENCE OF EXCHANGE BIAS IN $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Ni}_x\text{Mn}_{100-x}$ THIN FILMS

Moskalev M.E.\*, Lepalovskij V.N., Vas'kovskiy V.O.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

\*E-mail: [moskalyov\\_m@mail.ru](mailto:moskalyov_m@mail.ru)

The exchange bias effect in magnetic bilayers is a useful feature for modern applications such as magnetoresistive sensors and spin valves. But when employed at temperatures higher than a blocking temperature  $T_B$  exchange coupling at the interface disappears, in other words, systems based on exchange bias have a limited working temperature range. One system that is reported to enhance that range is Ni-Mn [1]. It is antiferromagnetic at certain concentrations and bilayers with it exhibit one of the highest known values of  $T_B$  therefore it is a prospective basis for exchange biased systems [2]. The only problem is that as-deposited Ni-Mn tends to be in the fcc-

structure in which it is paramagnetic. In order to make a Ni-Mn layer antiferromagnetic a following annealing is required [3]. This work deals with a search for an optimal annealing temperature and composition.

Exchange bias of layered structures containing  $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$  and Ni-Mn layers has been systematically investigated. A series of  $\text{Ta/Ni}_x\text{Mn}_{100-x}(20\text{nm})/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(40\text{nm})/\text{Ta}$  films obtained by means of magnetron sputtering in the presence of a uniform magnetic field has been studied. The number and the thicknesses of layers has remained unchanged, while the Ni concentration  $x$  in the Ni-Mn layer has been varied from 15 to 75 wt.%. The latter has been achieved through changing the sputtering rates of Ni and Mn targets. The specimens have been subjected to non-destructive analysis by the Nanohunter X-ray fluorescence spectrometer in order to control their composition.

The specimens have undergone the procedure of a one hour-long vacuum annealing at annealing temperatures  $T_A$  of  $250\div 400^\circ\text{C}$ . A Kerr-microscope has been used to define the shift of the hysteresis loop – the exchange bias field  $H_{\text{EX}}$ .

Fig. 1 confirms that the as-deposited films don't possess any exchange bias, yet after annealing exchange bias develops. It can be concluded that the films with relatively low Ni concentrations ( $15\div 20$  wt.%) when exposed to annealing at  $300^\circ\text{C}$  demonstrate the largest exchange bias.

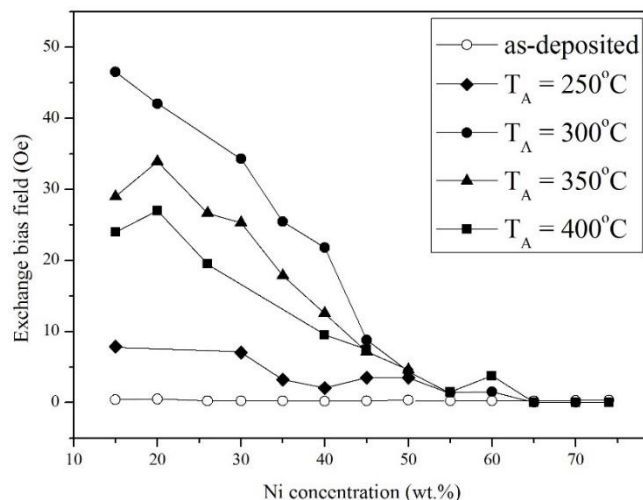


Fig. 1. The exchange bias field as a function of the Ni concentration in the pinning layer. The legend denotes the as-deposited series and the temperatures of annealing.

*This work has been supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project RFMEFI57815X0125.*

1. J. Nogues, J. Sort, V. Langlais, V. Skumrayev, S. Surinach, J.S. Munoz, M.D. Baro, Physics Reports, 422, 65-117 (2005).
2. A.E. Berkowitz, K. Takano, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 200, 552-570 (1999).
3. E. Kren, E. Nagy, I. Nagy, L. Pal, P Szabo, J. Phys. Chem. Solids, 29, 101-108 (1968).